

PENGARUH WATER BINDER RATIO (W/B) TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR DRY GEOPOLYMER BERBASIS FLY ASH DENGAN NaOH 8 M

Evi Rahmawati

Progam Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

evirahmawati1709@gmail.com

Abstrak

Semen merupakan bahan yang sangat penting dalam kegiatan konstruksi. Namun semen memiliki dampak yang berbahaya bagi lingkungan apabila diproduksi dalam skala besar dan secara terus-menerus. Karena dalam produksi semen terjadi pelepasan CO₂ ke atmosfer. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan bahan alternatif pembentuk lain yang memiliki kandungan sama seperti semen.

Geopolimer merupakan salah satu solusi untuk pembangunan konstruksi yang ramah lingkungan dengan alternatif substitusi parsial semen melalui penggunaan bahan hasil produk sampingan industri (*by product material*) seperti abu terbang, karena abu terbang memiliki kandungan Ca, Si dan Al tinggi seperti semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh variasi *Water Binder Ratio* terhadap kuat tekan mortar geopolimer berbasis *Fly Ash*. Tipe abu terbang yang digunakan yaitu abu terbang kelas C. Komposisi variasi (W/B) sebanyak 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50% dan 55% dari berat volume mortar. Benda uji yang digunakan adalah berbentuk mortar berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm dan diuji pada umur 7, 14 dan 28 hari sebanyak 72 sampel yang terdiri dari 8 variasi masing-masing adalah 9 sampel.

Dari hasil pengujian, pengaruh prosentase (W/B) sebesar 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50% dan 55% memiliki nilai kuat tekan tertinggi pada prosentase (W/B) 40% yaitu sebesar 9,04 MPa pada usia mortar 28 hari. Nilai kuat tekan terendah pada prosentase (W/B) 25% yaitu sebesar 3,40 MPa untuk usia mortar 28 hari.

Kata kunci: mortar geopolimer, abu terbang, kuat tekan, *water binder ratio* (W/B)

Abstract

Cement is a very important material in construction activities. However cement has a negative impact on the environment when produced in large scale and continuously. The production of cement takes the release of CO₂ into the atmosphere. It take another alternative material that has the same high Ca, Si and Al content as cement mortar to solve the problem.

Geopolymer is one of solution to creating sustainable development with alternative partial substitution of cement through the use of industrial (by products material) such as fly ash, because fly ash has high Ca, Si and Al content such as cement. This research to determine the effect of water binder ratio variation on the compressive strength of mortar geopolimer based on Fly Ash. Type of fly ash that used is fly ash class C. The composition of water binder ratio variation is 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50% and 55% by weight of mortar volume. The specimen used were cubic mortar with size 5 cm x 5 cm x 5 cm and tested at age 7, 14 and 28 days as many as 72 samples consist of 8 variation which each variation is 9 sample.

Result show that, the influence of percentage of water binder ratio (W/B) of 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50% and 55% have the highest compressive strength value at percentage of water binder ratio 40% ie 9.04 MPa at age mortar 28 days. The lowest compressive strength value on the percentage of water binder ratio of 25% is 3.40 MPa for 28 day mortar age.

Keywords: *geopolymer mortar, fly ash, compressive strength, water binder ratio (W/B).*

PENDAHULUAN

Perkembangan rekayasa teknologi dalam bidang teknik sipil pada saat ini berkembang sangat maju, baik dalam bidang rekayasa struktur, manajemen, maupun teknologi bahan. Dalam membangun suatu infrastruktur tentu material bersifat struktural dipilih sebagai komponen penyusunnya. Beton merupakan salah satu material struktural yang umum digunakan dalam suatu struktur bangunan. Di dalam beton, terdapat bahan pengikat utama yang mampu membentuk kekuatan yaitu

semen portland. Hal tersebut membuat kebutuhan akan bahan dan material konstruksi seperti semen meningkat.

Semen merupakan salah satu material berfungsi sebagai pengikat yang digunakan dalam suatu konstruksi yang tidak ramah lingkungan. Meningkatnya penggunaan material semen membuat para perusahaan memproduksi semen dalam skala besar. Hal tersebut menyebabkan terjadinya perubahan iklim pada atmosfer serta menghasilkan efek rumah kaca yaitu Carbon dioksida (CO₂). Gas Carbon Dioksida dilepaskan ke atmosfer dengan bebas sehingga dapat merusak lingkungan hidup selain itu juga dapat menyebabkan pemanasan global.

Untuk mengatasi kerusakan lingkungan akibat dari efek buruk pengolahan dari penggunaan semen, Davidovits (1991) melakukan sebuah penelitian tentang *geopolymer*. *Geopolymer* yaitu teknologi bahan pengikat menggunakan aktivator alkali, dimana aktivator alkali ini mampu bereaksi dengan material yang mengandung Si dan Al tinggi melalui proses polimerisasi. Penelitian tersebut semakin banyak dikembangkan di seluruh dunia dengan tujuan untuk melakukan pembangunan berbasis *green building* dan juga teknologi bahan pengikat ini 100% tanpa semen portland.

Pembangunan berbasis *green building* tersebut, sebagai bahan pengganti semen yang diperoleh dari bahan limbah ramah lingkungan. Selain itu limbah tersebut harus memiliki sifat atau karakteristik sama seperti semen. Semen mengandung silika dengan kemampuan mengikat tinggi. Dengan itu salah satu alternatif pengganti semen yang sudah banyak diteliti yaitu menggunakan abu terbang (*Fly Ash*).

Fly Ash merupakan suatu material halus yang berasal dari peleburan besi baja dan batu bara (ASTM, 1995:304). Penggunaan *geopolymer* berbahan dasar abu terbang (*fly ash*) dapat menurunkan produksi gas CO₂ yang dihasilkan selama proses produksi semen. *Fly Ash* memiliki sifat hampir sama dengan semen yaitu memiliki kandungan silika tinggi, namun tidak memiliki kemampuan mengikat seperti semen. Tetapi dengan pengaruh dari FAS, *Alkaline Activator (Calcium Carbonat)* (kapur) dan *Sodium Hidroksida (NaOH)*, memicu oksida silika yang dikandung oleh *fly ash* bereaksi secara kimia. Namun karena perawatan yang dibutuhkan geopolimer ialah perawatan bersuhu tinggi guna mempercepat reaksi *polymer* yang terjadi selama pengerasan. Salah satu penyebab lamanya proses pengerasan yaitu rendahnya kandungan kalsium (Ca). Oleh karena itu diperlukan bahan yang kandungan Ca-nya tinggi serta perbandingan FAS yang tepat untuk menghasilkan kualitas mortar geopolimer yang baik.

Kendala utama dalam pembuatan mortar *geopolymer* yaitu proses pencampuran dilapangan sulit dilakukan karena dalam menentukan rasio perbandingan tidak semua orang dapat melakukan, selain itu bentuk dari alkali ialah berupa basah sehingga sulit dilakukan dilapangan. Karena *geopolymer* merupakan campuran dari *fly ash* dengan *alkali* yang berupa senyawa.

Oleh karena itu, penelitian "*Rekayasa Mortar Geopolimer berbasis Fly Ash*" dengan metode pencampuran kering (semen geopolimer) ini diharapkan dapat menjadi satu solusi untuk mengatasi permasalahan dalam proses pembuatan geopolimer dilapangan agar dapat lebih mudah diterima dan diaplikasikan oleh masyarakat luas.

Pada penelitian ini diselidiki pengaruh *water binder ratio* (W/B) terhadap nilai kuat tekan mortar geopolimer berbasis fly ash dengan NaOH 8 M. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di awal, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perbandingan *Water Binder Ratio* (W/B) terhadap kuat tekan pada pembuatan *dry geopolymer mortar* dengan NaOH 8 Molar?
2. Berapa standar tertinggi komposisi *Water Binder Ratio* (W/B) pada pembuatan *dry geopolymer mortar* dengan NaOH 8 Molar?

Berikut merupakan beberapa tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh besarnya *Water Binder Ratio* (W/B) terhadap kuat tekan pada pembuatan *dry geopolymer mortar* dengan NaOH 8 Molar.
2. Untuk mengetahui standar tertinggi komposisi *Water Binder Ratio* (W/B) pada pembuatan *dry geopolymer mortar* dengan NaOH 8 Molar.

Adapun Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Memberikan pengetahuan tentang bagaimana pengaruh *Water Binder Ratio* (W/B) terhadap nilai kuat tekan pada pembuatan *dry geopolymer mortar* konsentrasi NaOH 8 Molar.
2. Memberikan solusi serta inovasi baru dibidang teknologi beton ramah lingkungan yaitu *dry geopolimer* yang lebih aplikatif dan memiliki performa tinggi terhadap pencemaran lingkungan yang diakibatkan dari produksi semen.
3. Memberikan rujukan atau referensi bagi kalangan akademisi untuk keperluan studi dan penelitian selanjutnya mengenai topik permasalahan yang sama.
4. Menjadi satu solusi untuk menutupi kelemahan pembuatan *geopolymer* dilapangan agar dapat lebih mudah diterima dan diaplikasikan oleh masyarakat luas.

Berikut adalah batasan-batasan dalam penelitian ini :

1. Penelitian ini menggunakan material pembentuk *geopolymer* dengan sumber sebagai berikut:
 - a. *Fly Ash* kelas C dari CV. Dwi Mitra Surya.
 - b. Larutan NaOH konsentrasi 8 M.
 - c. Bahan utama lain sebagai aktivator adalah kapur dari toko bangunan di Jl. Ketintang, Surabaya.
 - d. Agregat halus yang digunakan adalah pasir Lumajang dari UD. Bangun Persada.
 - e. Air yang digunakan adalah air aquades dari PT. Brataco.
2. Variasi perbandingan *Water Binder Ratio* (W/B) yang digunakan ialah 0,25 ; 0,30 ; 0,35 ; 0,40 ; 0,45 ; 0,50 ; 0,55.

3. Benda uji yang digunakan berupa mortar berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm dengan sampel 72 buah mortar yang terdiri dari 8 *mix design* dan per benda uji terdapat 3 sampel.
4. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada usia 7, 14 dan 28 hari.
5. Penelitian tidak memperhitungkan biaya.

KAJIAN PUSTAKA

A. Geopolymer

Menurut Davidovits (1991), *Geopolymer* merupakan sintesa bahan-bahan alam anorganik lewat proses polimerisasi. Bahan dasar penyusun utama yang diperlukan adalah unsur silikon (Si) dan aluminium (Al). Untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimiawi, digunakan larutan yang bersifat alkalis. Dalam reaksi polimerisasi Silika (Si) dan Aluminium (Al) dengan alkaline akan menghasilkan SiO dan AlO₄.

Penerapan geopolimer merupakan salah satu alternatif pemanfaatan limbah *fly ash* menjadi produk bahan bangunan yang ramah lingkungan. Berbeda dengan beton biasa yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya. Unsur silika dan alumina yang terkandung dalam abu terbang dilarutkan dengan larutan yang bersifat alkalis yang disebut larutan alkalin.

Beberapa larutan alkalin yang dapat digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH), natrium silikat (Na₂SiO₃) dan air distilat (H₂O) yang masing-masing komponen memiliki peran penting dalam sintesis. Sintesis ini didasari oleh reaksi polikondensasi dari material yang mengandung alumina-silikat.

B. Mortar Geopolymer

Mortar *geopolymer* merupakan reaksi pengikatan yang terjadi dengan reaksi polimerisasi dalam pembuatan adukan pasta (mortar). Dalam reaksi ini unsur aluminium dan silikat merupakan unsur utama yang mempunyai peranan penting dalam membentuk ikatan polimer. Unsur aluminium silikat banyak terdapat pada *fly ash* dan kapur. Selain itu diperlukan juga larutan aktivator dalam pembentukan ikatan *polymer*. Larutan ini berfungsi sebagai katalisator dan memperkuat ikatan polimer.

C. Bahan Penyusun Mortar Geopolymer

Dalam menentukan kualitas pembuatan mortar *geopolymer* tentu harus memperhatikan bahan penyusun yang akan digunakan. Bahan-bahan penyusun mortar geopolimer terdiri dari:

1. Agregat Halus

Dalam SNI 15-2049-1994, agregat halus diartikan sebagai bentuk pasir alam hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu.

2. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly Ash adalah bagian dari sisa pembakaran batubara pada *boiler* pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus dan bersifat pozzolan, dalam hal ini abu tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat (Himawan dan Darma, 2000).

3. Alkali Aktivator

Larutan alkali yang paling umum digunakan dalam geopolimerisasi adalah suatu kombinasi Sodium Hidroksida (NaOH) atau natrium silikat.

4. Kapur

Batu kapur adalah sebuah batuan sedimen yang kaya akan mineral calcite (CaCO₃). Batu kapur merupakan salah satu batuan sedimen yang kaya akan kandungan kalsium karbonat dan merupakan bahan dasar utama dalam pembuatan semen.

Terdapat dua alasan untuk memanfaatkan kalsium karbonat dalam produksi aktivator kering. Pertama, natrium hidroksida bereaksi dengan kalsium karbonat untuk menghasilkan kalsium hidroksida dan natrium karbonat dan pirsonite. Kedua, sisa kalsium karbonat dari reaksi bertindak sebagai bahan pengisi yang menurunkan porositas dan meningkatkan kekuatan tekan teraktivasi (Abdel-Gawwad, 2014).

5. Air

Air merupakan bahan dasar penyusun mortar yang paling berperan dan paling murah. Air berfungsi sebagai bahan pengikat dan bahan pelumas diantara butir-butir agregat serta berperan untuk mempermudah proses pencampuran dan pengerjaan adukan mortar (*workability*).

D. Pengujian Mortar

1. Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah kemampuan untuk menahan gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang diinginkan maka semakin tinggi pula mutu beton yang harus dihasilkan. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan berikut;

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

dimana,

$f'c$ = Kuat tekan beton (N/mm²)

P = Beban (N)

A = Luas permukaan benda uji (mm²)

METODE

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah uji laboratorium (*experimental*), yang mana penelitian ini merupakan suatu langkah uji coba untuk mengembangkan beberapa penelitian sebelumnya dengan cara menyelidiki dan mencari bentuk hubungan antara variabel satu dengan lainnya. Kemudian data yang diperoleh dianalisa secara statistik kuantitatif.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian pembuatan *dry geopolymer mortar* berbahan dasar abu terbang (*fly ash*) dilaksanakan pada semester gasal tahun ajaran 2017-2018. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya.

C. Variabel Penelitian

Menurut Sugiyono (2012:38), Variabel penelitian merupakan konstruk atau sifat yang akan dipelajari. Menurut hubungan antara satu variabel dengan variabel lainnya, (Sugiyono, 2012:39) menyebutkan macam-macam variabel dalam penelitian.

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas ialah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab dari suatu perubahan atau timbulnya variabel terikat (*Dependent Variable*). Dalam hal ini yang menjadi variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi dari komposisi perbandingan *Water Binder Ratio* (W/B) yaitu 0,25 ; 0,30 ; 0,35 ; 0,40 ; 0,45 ; 0,50 ; 0,55.

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat dari variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat ialah kuat tekan mortar geopolimer.

3. Variabel Kontrol (*Control Variable*)

Variabel kontrol ialah variabel yang dapat dikendalikan sehingga pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Pada umumnya variabel kontrol sering digunakan untuk jenis penelitian perbandingan. Sebagai variabel kontrol dalam penelitian ini antara lain:

- Abu terbang (*fly ash*) tipe C
- Larutan NaOH sebagai aktivator yang digunakan ialah konsentrasi 8 M.
- Bahan utama lainnya sebagai pengikat adalah kapur.

d. Agregat halus yang digunakan adalah pasir Lumajang.

e. Air yang digunakan ialah air suling.

f. Menggunakan perbandingan *Water Binder Ratio* (W/B) yaitu 0,25 ; 0,30 ; 0,35 ; 0,40 ; 0,45 ; 0,50 ; 0,55.

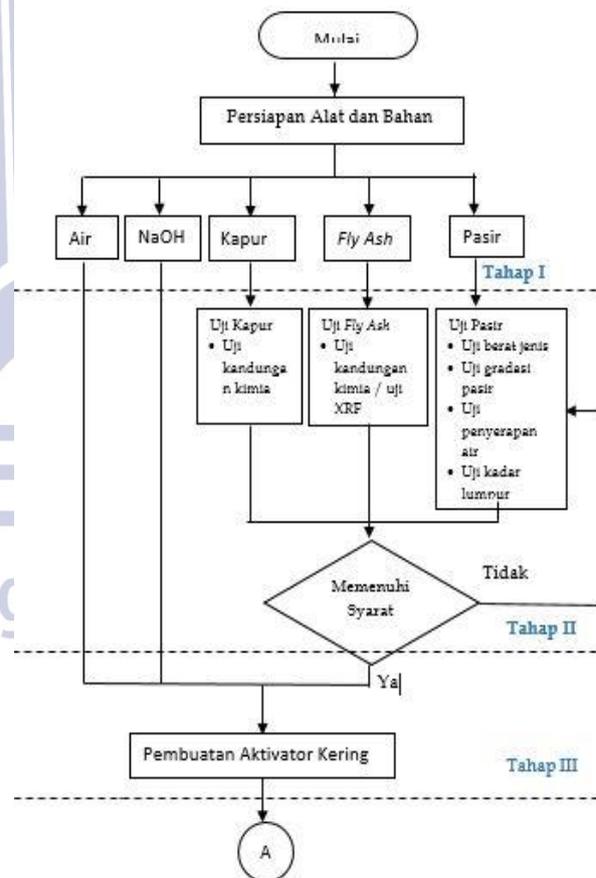
g. Pengujian kuat tekan mortar dilaksanakan pada usia 7, 14 dan 28 hari.

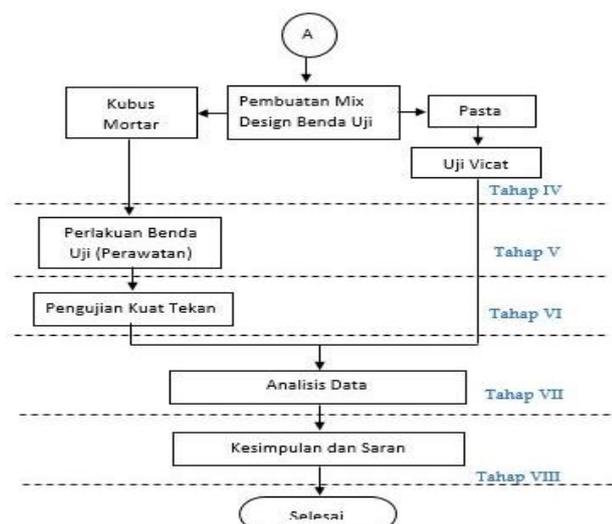
h. Alat pengujian benda uji khusus mortar menggunakan alat uji *Hydraulic Universal Testing Machine*.

i. Tempat pengujian benda uji yaitu Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya.

D. Rancangan Penelitian

Dalam eksperimen penelitian ini dilakukan secara bertahap mulai dari perencanaan dan perancangan penelitian, menentukan sasaran tujuan penelitian, pengambilan data laboratorium hingga menganalisis data hasil laboratorium. Berikut penyajian diagram alir rancangan penelitian pada **Gambar 1** berikut:





Gambar 1 Diagram Alir (Flow Chart) Penelitian

E. Prosedur Penelitian

Rancangan *mix design* yang telah direncanakan tersebut, selanjutnya dilaksanakan penelitian yang terbagi dari beberapa tahap. Berikut tahapan penelitian:

1. Tahap Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan berasal dari Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya. Adapun bahan yang diperlukan untuk pembuatan *dry geopolymer mortar* adalah *fly ash*, kapur, larutan NaOH 8 M, pasir, dan air.

2. Tahap Pengujian Material

Bahan-bahan pembentuk *dry geopolymer mortar* diuji terlebih dahulu untuk mengetahui kandungan dari masing-masing bahan penyusun. Bahan-bahan yang akan diuji adalah sebagai berikut:

a. Kapur

Dalam pengujian kapur yang dibutuhkan ialah uji kandungan kimia yaitu uji XRF.

b. *Fly ash*

Pengujian *fly ash* menggunakan metode uji kandungan kimia yaitu uji XRF.

c. Aktivator Kering

Pengujian aktivator kering menggunakan metode uji kandungan kimia yaitu uji XRF.

d. Pasir

Pengujian pada pasir yakni berupa pengujian berat jenis pasir, pengujian gradasi, penyerapan air dan kadar lumpur.

3. Tahap Pembuatan Aktivator

a. Pembuatan Larutan NaOH 8 M

Langkah-langkah pembuatan larutan NaOH 8 M adalah sebagai berikut:

- 1) Persiapkan alat dan bahan.

- 2) Timbang kebutuhan NaOH untuk kebutuhan 1 liter larutan NaOH 8 M, masukkan kegelas ukur besar.
- 3) Takar air suling sebanyak 1 liter, kemudian tuangkan kegelas ukur yang sudah ada NaOH tersebut.
- 4) Aduk keduanya hingga homogen.
- 5) Diamkan 10-20 menit hingga larutan menjadi berwarna bening, setelah larutan bening, tuang ke dalam cerigen.
- 6) Ulangi langkah tersebut untuk membuat per liternya dengan langkah-langkah yang sama hingga cerigen terisi penuh, buat sesuai kebutuhan.
- 7) Setelah penuh, diamkan selama 24 jam hingga suhu larutan sama seperti suhu ruangan.

b. Pembuatan Aktivator Kering

Langkah-langkah pembuatan aktivator kering ialah sebagai berikut:

- 1) Timbang kebutuhan kapur dan larutan NaOH sesuai *mix design* rencana.
- 2) Pencampuran larutan NaOH 8 M dilakukan secara berangsur-angsur ke dalam wadah berisi kapur.
- 3) Kemudian campuran tersebut diaduk sampai homogen hingga menjadi pasta.
- 4) Setelah itu campuran tersebut dikeringkan oven selama 24 jam dan suhu pemanasan 110° C.
- 5) Setelah kering ditumbuk hingga menjadi bubuk halus dan diayak hingga halus.

4. Tahap Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

- a. Membersihkan alat cetakan mortar dari kerak-kerak yang menempel, kemudian dilapisi dengan pelumas oli atau sejenisnya.
- b. Menimbang semua bahan yang dibutuhkan untuk membuat *dry geopolymer mortar* sesuai *mix design* rencana.
- c. Mencampur aktivator kering yang telah direaksikan sebelumnya dengan *fly ash*.
- d. Setelah tercampur rata, ditambah dengan air dan kemudian pasir sesuai perhitungan perencanaan. Diaduk sampai campuran menjadi homogen.
- e. Mencetak mortar ke dalam cetakan mortar dengan diisi dalam 3 lapis dan setiap lapis dipadatkan sebanyak 25x rojok.

- f. Setelah itu permukaan mortar diratakan dan disimpan pada suhu kamar normal.
- g. Melepas cetakan mortar setelah 24 jam pencetakan dan disimpan pada suhu ruangan.

Berikut adalah *mix design* pembuatan benda uji *geopolymer mortar* 8M:

Tabel 1 *Mix Design* Rencana

MD	Material Penyusun					
	PC	NaOH 8 M	Kapur	FA	Pasir	Air
1	1	-	-	-	2,75	0,50
2	-	0,06	0,1	0,84	2,75	0,25
3	-	0,06	0,1	0,84	2,75	0,30
4	-	0,06	0,1	0,84	2,75	0,35
5	-	0,06	0,1	0,84	2,75	0,40
6	-	0,06	0,1	0,84	2,75	0,45
7	-	0,06	0,1	0,84	2,75	0,50
8	-	0,06	0,1	0,84	2,75	0,55

5. Tahap Perawatan

Perawatan dilakukan selama 28 hari terhitung dari pelepasan benda uji dari cetakan dan diangin-anginkan dalam suhu ruang.

6. Tahap Uji Kuat Tekan

Tahap Pengujian kuat tekan terhadap mortar dilakukan pada sampel dengan umur rencana 3, 7, 14 dan 28 hari. Pengujian kuat tekan dilaksanakan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya dengan menggunakan alat uji *Universal Testing Machine* WE – 600B, 360V atau yang sering disebut dengan *Dial Gauge* yang merupakan produksi China.

7. Tahap Analisis Data

Teknik analisis data hasil pengujian laboratorium adalah deskriptif kuantitatif. Teknik analisis ini dilakukan dengan cara menelaah data yang diperoleh dari hasil eksperimen, dimana hasilnya berupa data kuantitatif yang akan dibuat dalam bentuk tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafis.

Langkah selanjutnya yaitu mendeskripsikan atau menggambarkan data sebagaimana adanya dalam bentuk kalimat yang mudah dibaca, dipahami dan dipresentasikan, sehingga pada intinya adalah sebagai upaya memberi jawaban atas permasalahan yang diteliti (Sugiyono, 2012:147).

Tabel dan grafik yang telah dibuat kemudian dianalisis dan dijabarkan sehingga diperoleh suatu hubungan dari data tersebut yang diantaranya:

- a. Pengaruh prosentase *Water Binder Ratio* (W/B) terhadap kuat tekan. Menurut SNI 03-1974-1990 untuk mengetahui besarnya kuat tekan dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

σ = Kuat tekan beton (N/mm²)

P = Beban maksimum

A = Luas penampang benda uji (mm²)

- b. Analisa data berdasarkan hasil dari uji vicat ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik waktu penetrasi awal dan waktu penetrasi akhir. Kemudian dianalisis hubungan antara variasi *Water Binder Ratio* (W/B) dari uji vicat dengan kuat tekan yang dihasilkan

- c. Analisis perbandingan hasil kuat tekan dengan penelitian oleh H.A. Abdel-Gawwad dan S.A. Abo-El-Enein

8. Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap terakhir dari proses penelitian setelah semua data informasi diperoleh dan diolah. Dari hasil penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan untuk mengetahui dan menjawab tujuan dari penelitian ini. Selanjutnya dapat direkomendasikan dan diberikan saran guna mengembangkan penelitian lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Material

Dalam penelitian pembuatan *dry geopolymer mortar* dengan sasaran mutu tinggi tentunya juga harus diperhatikan kualitas material. Oleh sebab itu untuk mengetahui karakteristik, sifat, serta kandungan kimia dari material yang akan digunakan sebagai campuran mortar.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Pasir

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan adalah sebagai berikut:

- a) Berat pasir kering SSD A= 250 gram
- Berat pasir kering oven, X = 246 gram

- b) Berat piknometer + air suling, B = 338 gram

- c) Berat piknometer + air + pasir, C = 497 gram

- d) Berat jenis SSD = $\frac{A}{A+B-C} \times 100\%$
 $= \frac{250}{250+338-497} \times 100\%$
 $= 2,75$

- e) Penyerapan = $\frac{A-X}{X} \times 100\%$
 $= \frac{250-246}{246} \times 100\%$
 $= 1,63\%$

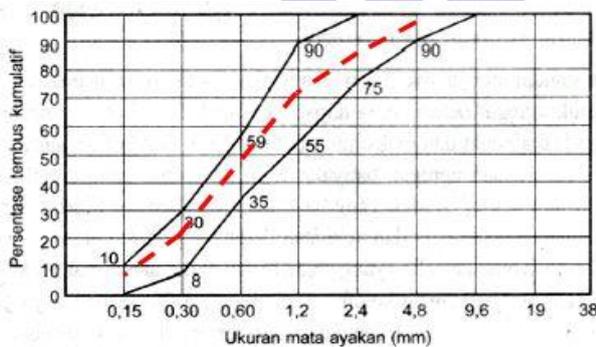
Berat jenis kering permukaan jenuh pasir $r = 2,75$ gram/cc, dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa pasir yang akan digunakan untuk penelitian cukup baik karena nilai tersebut berada diantara 2,0 – 3,0 gram/cc. Sedangkan hasil uji penyerapan air terhadap pasir = 1,63%.

2. Pengujian Gradasi Pasir

Hasil pengujian analisa ayakan pasir lapangan disajikan dalam **Tabel** dan **Grafik** berikut:

Tabel 2 Analisa Ayakan Pasir Lapangan

Lubang Ayakan	Tertinggal		Kumulatif	
	Gram	%	Tertinggal	%
No. 4	36	3,6	3,6	96,4
No. 8	101	10,1	13,7	86,3
No. 16	152	15,2	28,9	71,1
No. 30	254	25,4	54,3	45,7
No. 50	243	24,3	78,6	21,4
No. 100	139	13,9	92,5	7,5
Pan	75	7,5	0	0
Jumlah	1000	100	271,6	328,4

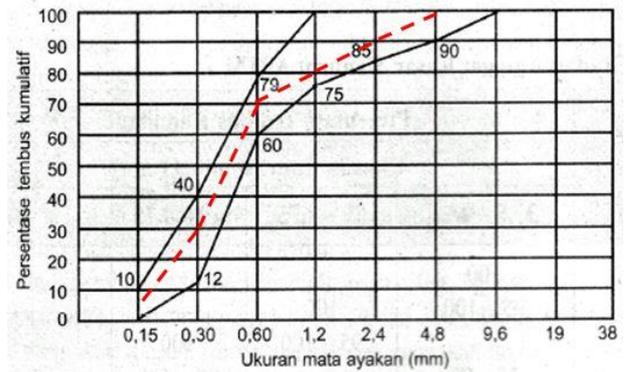


Gambar 2 Grafik Analisa Ayakan Pasir Lapangan

Berdasarkan hasil pemeriksaan analisa ayakan pasir diatas, dapat disimpulkan bahwa pasir yang digunakan pada penelitian termasuk pasir zona 2. Nilai FM (*Fineness Modulus*) yang diperoleh = $271,6 : 100 = 2,72$. Pasir termasuk golongan pasir baik karena memiliki nilai FM antara 1,50 – 3,80. Sedangkan pengelompokkan gradasi pasir berdasarkan uji laboratorium adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil Analisa Ayakan Pasir Laboratorium

Lubang Ayakan	Berat		% Kumulatif	
	Tertinggal	Kumulatif	Tertinggal	Lewat Ayakan
No. 4	0 (0 %)	0	0	100
No. 8	155 (5 %)	155	5	95
No. 16	155 (5 %)	310	10	90
No. 30	309 (10 %)	619	20	80
No. 50	1547 (50%)	2166	70	30
No. 100	773 (25%)	2939	95	5
Pan	155 (5 %)	3094	100	0
Jumlah	1000		200	



Gambar 3 Grafik Analisa Ayakan Pasir Laboratorium

Berdasarkan hasil pemeriksaan analisa ayakan pasir diatas, pasir yang digunakan pada penelitian termasuk pasir zona 3 yaitu kategori pasir agak halus karena nilai FM (*Fineness Modulus*) yang diperoleh yaitu = $200 : 100 = 2,00$.

3. Pengujian Kadar Lumpur Pasir

Berdasarkan peraturan PBI 1971, agregat halus (pasir) tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering. Berikut adalah hasil dari pengujian kadar lumpur pada pasir:

- Berat pasir mula-mula (A) = 500 gram
- Berat pasir bersih oven (B) = 412 gram
- Kadar lumpur = $\frac{A-B}{B} \times 100\%$
 $= \frac{500-412}{412} \times 100\%$
 $= 0,21 \%$

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai kadar lumpur pasir sebesar 0,21%. Hal ini menunjukkan bahwa pasir tersebut layak digunakan karena nilai kadar lumpur tidak lebih dari 5% dari berat kering pasir tersebut.

Berikut adalah rekapitulasi kesesuaian hasil pengujian pasir terhadap standar:

Tabel 4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir

Jenis Pengujian	Kesesuaian	
	Nilai	Standar
Berat Jenis	2.75 gram/cc	2.0 – 3.0 gram/cc
Penyerapan Air	1.63%	< 2%
Kadar Lumpur	3,73 %	< 5 %
Gradasi	Zona 2 & Zona 3	-

4. Pengujian Fly Ash

Pengujian yang dilakukan terhadap *fly ash* yaitu pengujian *X-Ray Fluorescence (XRF)* yang bertujuan untuk mengetahui kandungan kimia yang terkandung dalam *fly ash* tersebut. Pengujian

ini dilaksanakan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang. Berikut adalah hasil dari pengujian kandungan *fly ash*:

Tabel 5 Hasil Uji Kandungan Kimia *Fly Ash*

No.	Komponen	Kadar (%)
1	Al	4,6
2	Si	13,1
3	S	0,4
4	K	0,97
5	Ca	24,0
6	Ti	0,92
7	V	0,05
8	Cr	0,099
9	Mn	0,76
10	Fe	51,17
11	Ni	0,02
12	Cu	0,068
13	Sr	0,80
14	Mo	1
15	In	0,07
16	Ba	0,71
17	Eu	0,4
18	Yb	0,1
19	Hg	0,54

Sumber: Uji XRF FMIPA, UM Malang

Dari hasil uji kandungan kimia *Fly Ash* tersebut menunjukkan bahwa kandungan Ca sebesar 24%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa *fly ash* yang akan digunakan ialah tipe C, dengan ketentuan nilai kandungan Kalsium (Ca) adalah lebih dari 10% dan atau Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 50%.

5. Pengujian Kapur

Pengujian yang dilakukan terhadap kapur yaitu pengujian *X-Ray Fluorecence* (XRF) yang bertujuan untuk mengetahui kandungan kimia yang terkandung dalam kapur tersebut. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang. Berikut adalah hasil dari pengujian XRF kapur:

Tabel 6 Hasil Uji Kandungan Kimia Kapur

No.	Komponen	Kadar (%)
1	Mg	3,3
2	Ca	94,95
3	Fe	0,92
4	Sr	0,69
5	Tm	0,54
6	Lu	0,18

Sumber: Uji XRF FMIPA, UM Malang

6. Pengujian Aktivator Kering

Pengujian yang dilakukan terhadap aktivator kering ini bertujuan untuk mengetahui kandungan yang terbentuk dari hasil pencampuran larutan NaOH dengan kapur. Berikut adalah hasil pengujian XRF aktivator kering:

Tabel 7 Hasil Uji Kandungan Aktivator Kering

No.	Komponen	Kadar (%)
1	Ca	97,65
2	Fe	0,52
3	Cu	0,064
4	Sr	1,1
5	Yb	0,56
6	Lu	0,1

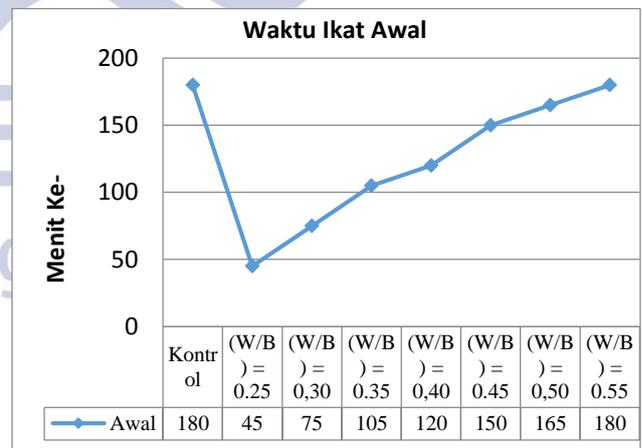
Sumber: Uji XRF FMIPA, UM Malang

B. Hasil Pengujian Vicat

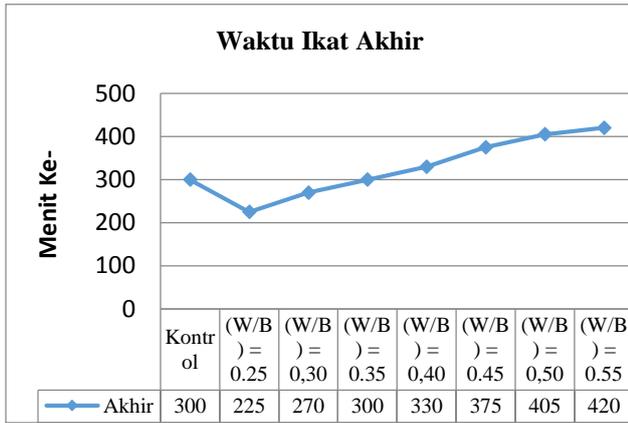
Uji vicat ini dilaksanakan untuk mengetahui perbandingan waktu pengikatan awal dan akhir pasta berbasah dasar semen dan *fly ash*.

Tabel 8 Hasil Pengujian Waktu Ikat Awal dan Akhir Mortar Geopolimer 8 M

Mix Design	Pengikatan Awal	Pengikatan Akhir
Kontrol	180	300
(W/B) = 0,25	45	225
(W/B) = 0,30	75	270
(W/B) = 0,35	105	300
(W/B) = 0,40	120	330
(W/B) = 0,45	150	375
(W/B) = 0,50	165	405
(W/B) = 0,55	180	420



Gambar 4 Grafik Hasil Pengujian Waktu Ikat Awal



Gambar 5 Grafik Hasil Pengujian Waktu Ikut Akhir

Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu ikat awal pasta geopolimer lebih cepat daripada waktu ikat awal pasta kontrol berbahan dasar semen. Sedangkan untuk waktu ikat akhir (WB=0.25) dan (W/B=0.30) lebih cepat, sedangkan (W/B) diatas 0.40 mengalami waktu ikat yang lebih lama dari kontrol.

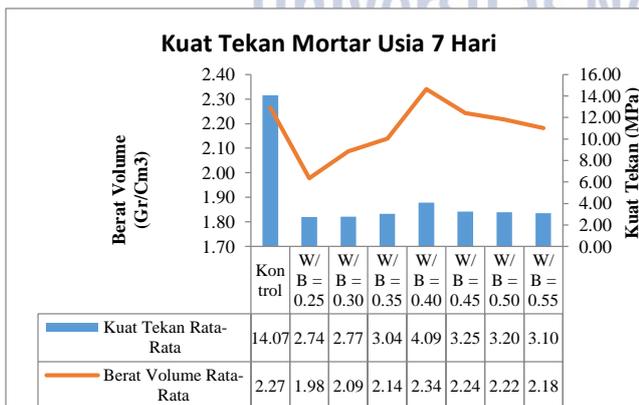
C. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Berikut merupakan hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan pengujian pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari yang dilakukan di Laboratorium Beton Universitas Negeri Surabaya.

1. Pengujian Kuat Tekan Mortar Usia 7 Hari

Tabel 9 Pengujian Kuat Tekan Mortar Usia 7 Hari

Mix Design	Umur Mortar (Hari)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Berat Volume Rata-Rata (Gr/Cm ³)
Kontrol	7	14.07	2.27
(W/B)=0.25	7	2.74	1.98
(W/B)=0.30	7	2.77	2.09
(W/B)=0.35	7	3.04	2.14
(W/B)=0.40	7	4.09	2.34
(W/B)=0.45	7	3.25	2.24
(W/B)=0.50	7	3.20	2.22
(W/B)=0.55	7	3.10	2.18

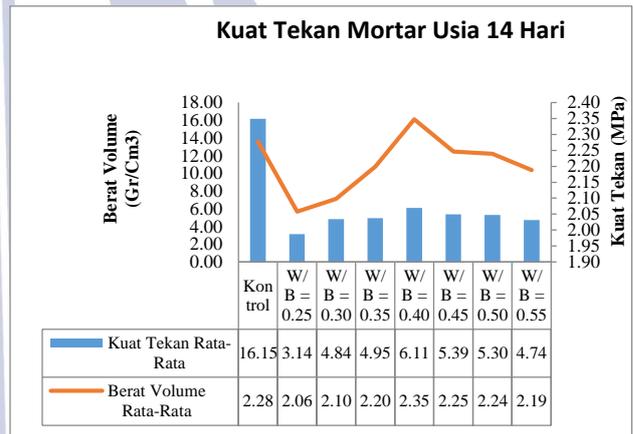


Gambar 6 Grafik Pengujian Kuat Tekan Mortar Usia 7 Hari

2. Pengujian Kuat Tekan Mortar Usia 14 Hari

Tabel 10 Pengujian Kuat Tekan Mortar Usia 14 Hari

Mix Design	Umur Mortar (Hari)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Berat Volume Rata-Rata (Gr/Cm ³)
Kontrol	14	16.15	2.28
(W/B)=0.25	14	3.14	2.06
(W/B)=0.30	14	4.84	2.10
(W/B)=0.35	14	4.95	2.20
(W/B)=0.40	14	6.11	2.35
(W/B)=0.45	14	5.39	2.25
(W/B)=0.50	14	5.30	2.24
(W/B)=0.55	14	4.74	2.19

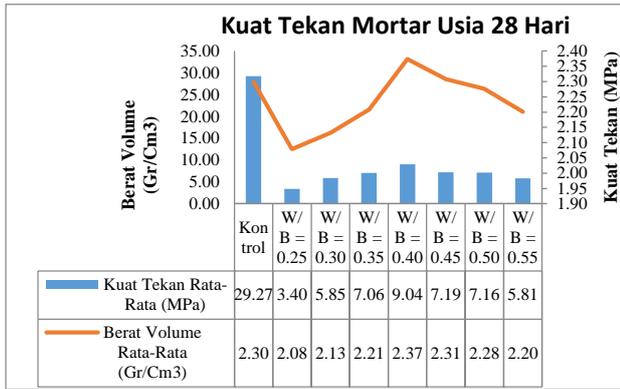


Gambar 7 Grafik Pengujian Kuat Tekan Mortar Usia 14 Hari

3. Pengujian Kuat Tekan Mortar Usia 28 Hari

Tabel 11 Pengujian Kuat Tekan Mortar Usia 28 Hari

Mix Design	Umur Mortar (Hari)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Berat Volume Rata-Rata (Gr/Cm ³)
Kontrol	28	29.27	2.30
(W/B)=0.25	28	3.40	2.08
(W/B)=0.30	28	5.85	2.13
(W/B)=0.35	28	7.06	2.21
(W/B)=0.40	28	9.04	2.37
(W/B)=0.45	28	7.19	2.31
(W/B)=0.50	28	7.16	2.28
(W/B)=0.55	28	5.81	2.20



Gambar 8 Grafik Pengujian Kuat Tekan Mortar Usia 28 Hari

Dari hasil uraian **Tabel 11** dan **Grafik 8** diatas menunjukkan bahwa MD 5 yaitu (W/B) 0.40 tetap menunjukkan kenaikan nilai kuat tekan dari nilai kuat tekan 7 hari hingga 28 hari.

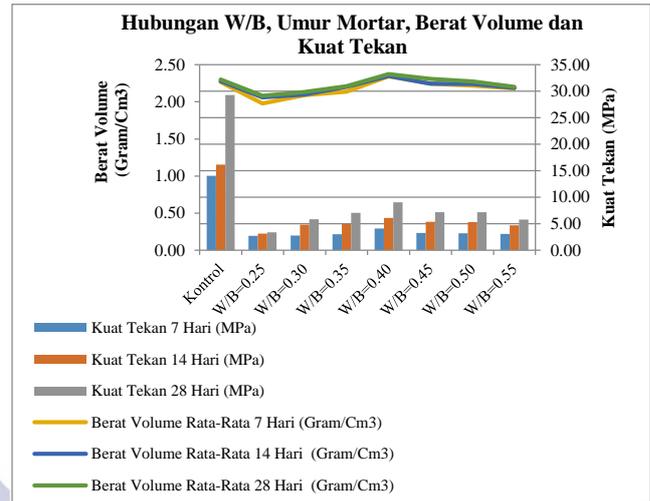
D. Pembahasan

Pembuatan mortar geopolimer dengan konsentrasi NaOH 8 M berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm di Laboratorium Beton Universitas Negeri Surabaya dilakukan pengujian kuat tekan pada usia mortar 7, 14, dan 28 hari. Pengaruh kuat tekan terhadap mortar ialah ditentukan oleh perbandingan material penyusunnya yaitu semen, agregat halus, air dan berbagai jenis bahan tambahan lainnya (Tjokrodilmo, 1996). Analisis hasil dari pengujian antara lain:

1. Analisis hubungan antara pengaruh prosentase Water Binder Ratio (W/B) terhadap nilai kuat tekan dan berat volume mortar berdasarkan usia pengujian.

Tabel 12 Analisis Hubungan Usia, (W/B) Ratio, Kuat Tekan dan Berat Volume

Mix Design	Kuat Tekan 7 H (MPa)	Kuat Tekan 14 H (MPa)	Kuat Tekan 28 H (MPa)	Berat Volume Rata-Rata 7 H (Gr/Cm3)	Berat Volume Rata-Rata 14 H (Gr/Cm3)	Berat Volume Rata-Rata 28 H (Gr/Cm3)
Kontrol	14.07	16.15	29.27	2.27	2.28	2.30
W/B=0.25	2.74	3.14	3.40	1.98	2.06	2.08
W/B=0.30	2.77	4.84	5.85	2.09	2.10	2.13
W/B=0.35	3.04	4.95	7.06	2.14	2.20	2.21
W/B=0.40	4.09	6.11	9.04	2.34	2.35	2.37
W/B=0.45	3.25	5.39	7.19	2.24	2.25	2.31
W/B=0.50	3.20	5.30	7.16	2.22	2.24	2.28
W/B=0.55	3.10	4.74	5.81	2.18	2.19	2.20



Gambar 9 Analisis Hubungan Usia, (W/B) Ratio, Kuat Tekan dan Berat Volume

Dari uraian **Tabel 12** dan **Gambar 9** hasil nilai kuat tekan mortar geopolimer konsentrasi 8 semua *mix design* pada usia 7, 14 hingga 28 hari menunjukkan kenaikan terhadap kuat tekan. Dapat diketahui dari Tabel dan Gambar bahwa nilai kuat tekan tertinggi yang dihasilkan mortar geopolimer adalah pada kondisi (W/B) < (W/B)=0.40 > (W/B), diperoleh bahwa MD 5 adalah (W/B) yang paling optimum untuk menghasilkan kuat tekan mortar geopolimer tertinggi. Selain itu dapat dilihat pada berat volume mortar tertinggi adalah pada kondisi (W/B) < (W/B)=0.40 > (W/B). Sehingga dapat disimpulkan bahwa kuat tekan berbanding lurus dengan berat volume yang dihasilkan.

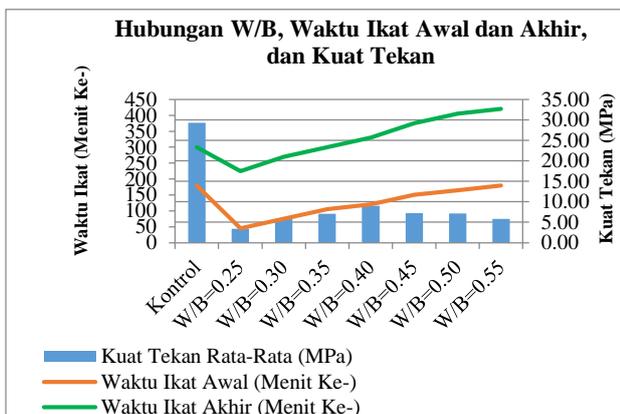
Nilai kuat tekan tersebut dapat dilihat dari pengaruh dari variasi (W/B), yang mana semakin tinggi penambahan (W/B) maka mortar semakin encer dan menjadikan mortar berpori. Pori tersebut timbul akibat uapan air yang terhidrasi oleh panas setelah mengikat dan membantu mereaksikan senyawa dalam deopolimer. Sehingga pori tersebut berdampak pada tinggi/rendahnya berat volume mortar dan kepadatan serta berpengaruh terhadap kekuatan mortar. Sedangkan penyebab turunnya nilai kuat tekan pada (W/B) rendah atau dibawah optimum adalah kebutuhan air yang sedikit tidak mampu untuk mengikat mortar sehingga bentuk fisik lebih tidak presisi dan mudah pecah akibat pengikatan yang kurang sempurna. Maka dari 7 variasi *mix design* mortar geopolimer yang memiliki standar hasil kuat tekan tertinggi ialah mortar MD 5 dengan perbandingan pencampuran 0,1 Kapur : 0,06 NaOH : 0,84 Fly Ash : 2,75 pasir : 0,40 air dan menghasilkan nilai kuat tekan usia 28 hari sebesar 9,04 MPa.

Namun apabila dibandingkan dengan hasil uji kuat tekan mortar kontrol hasilnya sangat jauh lebih besar mortar kontrol. Karena hasil uji kuat tekan 28 hari pada benda uji kontrol yang menggunakan komposisi 1 semen : 2,765 pasir : 0,50 air memiliki nilai sebesar 29.27 MPa. Dimana semen yang memiliki unsur kimia Ca dan Si yang tinggi yaitu, (CaO) = 60-67% dan SiO₂ = 17-25%. Sedangkan kandungan kimia pada *fly ash* yang digunakan memiliki prosentase kandungan sebagai berikut Ca = 24% dan Si = 13,1%. Karena pada dasarnya kekuatan tekan terhadap beton/mortar ialah dipengaruhi oleh kandungan kimia Ca, Si dan Al yang tinggi dalam bahan pozzolan. Sehingga pembuatan mortar geopolimer berbasis *fly ash* dengan aktivator kering dari NaOH 8 M dan kapur masih belum mampu menandingi hasil dari mortar berbasis semen.

- Analisis hubungan antara variasi (W/B) dengan pengikatan awal dan pengikatan akhir pasta geopolimer terhadap kuat tekan mortar geopolimer.

Tabel 13 Rekapitulasi Hubungan Waktu Pengikatan Awal dan Pengikatan Akhir Pasta Geopolimer dan Kuat Tekan Mortar Geopolimer 28 Hari

Mix Design	Waktu Ikut Awal (Menit Ke-)	Waktu Ikut Akhir (Menit Ke-)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
Kontrol	180	300	29.27
W/B=0.25	45	225	3.40
W/B=0.30	75	270	5.85
W/B=0.35	105	300	7.06
W/B=0.40	120	330	9.04
W/B=0.45	150	375	7.19
W/B=0.50	165	405	7.16
W/B=0.55	180	420	5.81



Gambar 10 Hubungan Waktu Pengikatan Awal dan Pengikatan Akhir Pasta Geopolimer dan Kuat Tekan Mortar Geopolimer 28 Hari

Berdasarkan **Tabel 13** dan **Gambar 10** menunjukkan bahwa hasil analisa penambahan *Water Binder Ratio* (W/B) dalam pembuatan mortar geopolimer memiliki kelebihan yaitu mudah dikerjakan namun kekurangannya yaitu dari segi kekuatan semakin besar nilai (W/B) maka semakin turun kekuatan dari mortar tersebut dan waktu pengikatan mortar menjadi semakin lama.

- Analisis Hasil Kuat Tekan *Dry Geopolymer* Mortar terhadap Penelitian Terkait.

Berikut adalah beberapa perbedaan dari penelitian penulis dan penelitian terkait:

Tabel 14 Perbedaan Penelitian Terkait dengan Penelitian Skripsi

No.	Faktor	H.A.Abdel-Gawwad dan S.A. Abo-El-Enein	Penelitian Skripsi
1.	Jenis Benda Uji	Pasta <i>Dry Geopolymer</i>	Mortar <i>Dry Geopolymer</i>
2.	Bahan Penyusun	SH; CC; GBFS; FAS	SH 8 M; CC; Fly Ash; FAS; Pasir
3.	Prosentase Bahan Penyusun	SH 10% ; CC 6% ; GBFS 84% ; (W/B) 0,27 %	SH 10% ; CC 6% ; Fly Ash 84% ; (W/B) 0,40 % ; Pasir 2,75
4.	Kandungan Kimia	<ul style="list-style-type: none"> CC : CaO 55,91 % dan LOI 43,64% GBFS : SiO₂ 37,81%, Al₂O₃ 13,14% dan CaO 38,70 %. 	<ul style="list-style-type: none"> CC : Ca 94,95% Fly Ash : Si 13,1%, Al 4,6% dan Ca 24%
5.	Suhu Pemanasan	80° C	110° C
6.	Lama Pemanasan	8 Jam	24 Jam
7.	Setting Time	<ul style="list-style-type: none"> Initial Time : 23 menit Final Time : 69 menit 	<ul style="list-style-type: none"> Initial Time : 120 menit Final Time : 330 menit
8.	Hasil Kuat Tekan	52,97 MPa	9,04 MPa

Analisa potensi rendahnya nilai kuat tekan penelitian skripsi jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan yang dihasilkan dari jurnal terkait berdasarkan **Tabel 14** benda uji yang dikaji dalam penelitian terkait adalah berwujud pasta geopolimer berbasis *slag* sedangkan penelitian skripsi berwujud mortar geopolimer berbasis *fly ash*. Prosentase (W/B) pasta yang digunakan untuk menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi dalam jurnal adalah 0,27 yang mana lebih kecil dibandingkan prosentase kadar air dalam penelitian skripsi yaitu 0,40. Hal ini mengakibatkan waktu ikat pasta lebih pendek dibandingkan mortar.

Potensi penyebab rendahnya nilai kuat tekan pada mortar geopolimer pada penelitian skripsi ialah kandungan Ca pada *fly ash* lebih sedikit dibandingkan pada GBFS. Sehingga dengan kandungan Ca yang sedikit tersebut membutuhkan kadar air yang tinggi untuk membentuk CaOH guna mempercepat proses polimerisasi. Namun dalam penelitian skripsi dengan meninggikan kadar air pada kondisi Ca rendah bukan suatu solusi yang tepat untuk menghasilkan kekuatan tekan tinggi. Karena penyebab tingginya kuat tekan pada pasta/mortar geopolimer adalah memiliki kandungan Ca, Si dan Al tinggi dalam material penyusun inti pembentuk geopolimer seperti *slag* atau *fly ash*.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil pembahasan penelitian pembuatan *dry geopolymer mortar* 8M dengan material utama *fly ash* sebagai pengganti 100% semen, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposisi penambahan *Water Binder Ratio* (W/B) terhadap mortar geopolimer memicu peningkatan nilai kuat tekan pada usia mortar 28 hari, peningkatan ini terlihat pada MD 2 (W/B=0,25) menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 3,40 MPa dan terus mengalami peningkatan nilai kuat tekan seiring dengan penambahan kadar air hingga MD 5 (W/B=0,40) yaitu sebesar 9,04 MPa. Kekuatan mortar menurun pada saat penambahan kadar air menjadi MD 6 (W/B=0,45) yaitu sebesar 7,19 MPa. Kemudian tetap mengalami penurunan kuat tekan hingga MD 8 (W/B=0,55) yaitu sebesar 5,81 MPa.
2. *Water Binder Ratio* (W/B) tertinggi dan memiliki pengaruh besar terhadap kekuatan tekan 7 variasi mortar geopolimer pada usia 28 hari adalah MD 5 (W/B=0,40) yang menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 9,04 MPa.
3. Faktor penyebab rendahnya nilai kuat tekan mortar geopolimer adalah kandungan utama pembentuk geopolimer (Ca, Si, Al) pada *fly ash* terlalu rendah.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk mempermudah penelitian lanjut maupun untuk produksi. Adapun saran-saran tersebut adalah sebagai berikut:

1. Harus diperhatikan dan sangat hati-hati dalam proses pembuatan aktivator kering karena mengandung bahan kimia berbahaya apabila terkena

kulit secara langsung akan mengakibatkan melepuh dan iritasi.

2. Perlu adanya perhatian khusus terhadap proses perawatan mortar agar mendapat kualitas kuat tekan yang tinggi.
3. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai alternatif bahan penyusun utama yang memiliki kadar Si, Ca dan Al tinggi.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi lama pemanasan dan atau suhu pemanasan terhadap aktivator kering.
5. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh lama penyimpanan aktivator kering terhadap kuat tekan mortar.

DAFTAR PUSTAKA

- American Standarts of Testing Material (ASTM). 1995. *Standart Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use Mineral Admixture Volume 04 02*. ASTM C618 (304-306).
- Davidovits, J (1991). *Geopolymer: Inorganic Polymeric New Materials*. Geopolymer Institut. France.
- H.A. Abdel-Gawwad. dkk. 2014. *A novel method to produce dry geopolymer cement powder*. Cairo : Ain Shams University.
- Hardjito, D. and Rangan, B.V. 2004. *Development and Properties Of Low-Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Jurnal Pondasi Vol. 13 (2): (hal: 124).
- Himawan, A., dan Darma, D.S. 2000. *Penelitian awal mengenai self compacting concrete*.
- Kuntjojo. 2009. *Metodologi Penelitian*. Kediri: Universitas Nusantara PGRI Kediri.
- PBI. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI-1971)*. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaaga Listrik, Bandung.
- SNI 03-1974. 1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 15-2049-1994. *Tentang Spesifikasi Agregat Halus untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Semen*. Badan Standarisasi Nasional.
- Sugiyono. 2012. *Metode Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.